

轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系构建研究

王睿

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

摘要：本文旨在探讨轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系的构建路径。首先，阐释全生命周期管理、运营管理与维护管理等理论在体系中的应用逻辑。随后，系统剖析当前管理体系的现状，指出其在协同机制与精细化管理水平方面仍有待提升。在此基础上，深入解析体系构建的核心要素，包括技术支撑、管理流程、组织与人员配置以及资金保障等关键维度。最后，提出切实可行的体系构建策略，涵盖整体架构设计、标准规范制定以及信息化平台建设等方面，以期为轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理提供理论依据与实践参考。

关键词：轨道交通；桥梁隧道；全生命周期管理；运营维护；管理体系

1 轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理理论基础

1.1 全生命周期管理理论

全生命周期管理理论在轨道交通桥梁隧道运营维护领域的应用，核心是将结构从规划设计阶段直至报废拆除的整个生命周期作为管理对象，实现各阶段的协同联动与资源优化配置。该理论强调打破传统分段管理的壁垒，通过贯穿始终的信息追踪与动态调控，最大化延长结构服役寿命、降低综合成本。在轨道交通桥梁隧道场景中，其要求将设计阶段的结构参数、施工阶段的质量数据、运营阶段的监测信息及维护阶段的处置记录整合形成完整数据库，为各阶段决策提供支撑。例如，在设计阶段就预判运营期可能出现的病害类型，提前优化结构设计；运营阶段基于全周期数据制定针对性维护方案，避免过度维护或维护不足^[1]。同时，该理论注重全周期成本管控，不仅关注初始建设成本，更将运营维护、病害处置及最终拆除等成本纳入整体考量，通过全流程精细化管理实现经济效益与安全效益的统一。

1.2 运营管理理论

运营管理理论在轨道交通桥梁隧道管理中的应用，聚焦于保障结构在服役期内安全、高效、稳定运行，通过科学的组织协调与流程管控实现运营目标。该理论以系统论为基础，将桥梁隧道运营视为一个有机整体，涵盖设备监测、安全巡查、应急处置、客流适配等多个环节的协同运作。在实际运营中，需建立常态化巡查机制，通过专业人员定期对桥梁支座、隧道衬砌等关键部位进行检查，及时发现结构异常；同时结合实时监测系统，对结构变形、应力变化、环境温湿度等指标进行24

小时动态追踪，实现隐患早发现、早预警。针对运营中的突发情况，如隧道渗漏水、桥梁伸缩缝损坏等，需制定标准化应急处置流程，明确各岗位职责与处置时限，确保快速响应、高效处置。另外，运营管理理论还强调人员培训与考核机制的建立，通过定期开展技能培训与应急演练，提升运营人员专业素养与应急处置能力，为结构安全运营提供人力保障。

1.3 维护管理理论

维护管理理论在轨道交通桥梁隧道领域的核心是通过科学的维护策略与技术手段，减缓结构性能衰减，维持结构设计功能，保障运营安全。该理论以可靠性工程为基础，结合结构服役状态监测数据与病害发展规律，制定预防性维护、矫正性维护与应急维护相结合的综合维护方案。预防性维护聚焦于病害预防，通过定期对桥梁隧道进行结构检测、防腐处理、裂缝修补等维护作业，延缓病害发生；矫正性维护针对已发现的轻微病害，及时采取修复措施，防止病害进一步发展扩大；应急维护则针对突发严重病害，如桥梁支座失效、隧道衬砌坍塌等，快速组织抢修，恢复结构基本功能。在维护管理过程中，需建立病害数据库，详细记录每次维护的部位、措施、效果及费用等信息，通过数据分析优化维护策略。同时，注重维护技术创新与应用，引入无损检测技术、新型修复材料等，提高维护作业效率与质量。维护管理还需与运营管理紧密协同，合理安排维护时间窗口，减少对轨道交通正常运营的影响，实现维护与运营的良性互动。

2 轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系现状

当前轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体

系已初步形成框架，但在各环节协同与精细化程度上仍有提升空间。在管理模式方面，多数城市采用“运营单位主导、专业机构支撑”的模式，运营单位负责日常运营巡查与基础维护，专业检测机构承担定期结构检测与评估工作，这种模式在一定程度上实现了分工协作，但存在信息传递滞后、责任划分不够清晰等问题^[2]。在技术应用方面，已普遍引入桥梁健康监测系统，通过传感器实时采集结构数据，但部分系统存在数据采集精度不足、数据分析能力薄弱等问题，未能充分发挥数据对维护决策的支撑作用。在标准规范方面，已出台一系列关于桥梁隧道检测、维护的行业标准与地方规范，明确了基本技术要求，但针对全生命周期各阶段协同管理的专项规范仍不完善，导致各阶段衔接存在脱节。在信息管理方面，多数单位建立了各自的管理信息系统，但系统间数据格式不统一，存在“信息孤岛”现象，无法实现全生命周期数据的有效整合与共享。在人员配备方面，运营维护队伍规模不断扩大，但具备全生命周期管理理念与跨专业知识的复合型人才短缺，难以满足精细化管理需求。整体来看，现有体系已实现从“被动维护”向“主动维护”的初步转变，但全生命周期协同管理能力仍需进一步提升。

3 轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系核心要素解析

3.1 技术支撑要素

技术支撑是轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护的核心保障，涉及监测检测、修复加固、信息管理等技术领域。监测检测形成“人工+自动化”立体体系，人工巡查发现表观病害，自动化监测借助多种设备实时采集结构多项指标。修复加固技术不断创新，新型复合材料如碳纤维布等广泛应用，具重量轻、强度高、耐腐蚀等优势；无损检测技术如超声波检测等，精准探测结构内部病害且减少损伤。信息管理方面，大数据、物联网、人工智能融入管理体系，物联网实现数据实时传输共享，大数据挖掘病害规律，人工智能自动识别预警。BIM技术作用重大，构建三维模型整合各阶段数据，实现可视化管理与全流程追溯，为各阶段管理决策提供精准技术支撑。

3.2 管理流程要素

管理流程是保障轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护有序开展的关键，涵盖全阶段流程。规划设计阶段开展地质勘察与受力分析，结合成本测算制定科学方案，明确使用年限等要求。建设施工严格执行方案，管控质量，建立档案记录资料。运营监测建立常态化机

制，整合数据，定期评估，及时预警隐患。维护处置依评估结果制定方案，明确内容、标准等，作业后评估效果并更新档案。报废拆除制定安全方案，评估环境，回收资源，整理归档数据。各阶段有效衔接，建立闭环机制，确保管理连续有效，为轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护提供流程保障。

3.3 组织与人员要素

组织与人员是轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系的人力保障，包括组织架构与人员队伍建设。组织架构建立“统一领导、分工负责、协同联动”体系，明确主管部门、运营单位等各方职责，主管部门统筹规划等，运营单位负责日常检查、维护等，专业检测机构检测评估，施工单位实施作业，同时建立跨部门协调机制^[3]。人员队伍建设构建多层次体系，管理人才具备全生命周期理念与统筹能力；技术人才掌握专业技术；作业人员有实操技能与安全意识。通过定期培训提升素质，建立绩效考核与激励机制，激发人员积极性主动性，保障管理体系高效运行，为轨道交通桥梁隧道运营维护提供人力支持。

3.4 资金保障要素

资金保障要素是支撑轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系运转的物质基础，涵盖资金筹措、预算管理、使用监管等环节。资金筹措方面，需建立多元化筹资机制，以政府财政投入为基础，结合轨道交通运营收益提取一定比例资金作为专项维护资金，同时积极探索社会资本参与模式，通过PPP等方式引入社会资金，缓解财政压力。针对大型维护项目或应急抢修工程，可设立专项基金，保障资金及时到位。预算管理方面，需结合全生命周期管理需求，制定中长期资金预算与年度预算。中长期预算基于结构设计使用年限、维护周期及成本测算，规划各阶段资金需求；年度预算根据当年结构监测评估结果、维护计划及上年度资金使用情况，细化资金分配方案，明确各维护项目资金额度。使用监管方面，建立“事前审核、事中监控、事后审计”的监管机制，事前对维护项目资金需求进行严格审核，确保预算合理性；事中实时跟踪资金使用情况，防止资金挪用或浪费；事后开展资金使用审计，评估资金使用效益。同时，建立资金使用绩效评价体系，将评价结果与后续预算分配挂钩，提高资金使用效率，保障全生命周期运营维护工作持续开展。

4 全生命周期运营维护管理体系构建策略

4.1 体系架构搭建

体系架构搭建需以全生命周期协同管理为核心，构

建“分层管控、纵向贯通、横向协同”的一体化架构。分层管控方面，明确战略层、管理层与执行层职责，战略层由主管部门与运营单位高层组成，负责制定全生命周期管理战略、规划目标及政策制度；管理层由运营单位技术部门与专业机构组成，负责制定维护计划、开展性能评估、统筹技术支撑；执行层由维护作业队伍与检测人员组成，负责日常巡查、监测数据采集、维护作业实施。纵向贯通方面，建立从规划设计、建设施工到运营维护、报废拆除的全阶段衔接机制，规划设计阶段为后续阶段提供技术参数与管理要求，建设施工阶段为运营维护提供质量档案，运营维护阶段为报废拆除提供结构状态数据，实现各阶段信息纵向贯通。横向协同方面，建立主管部门、运营单位、专业检测机构、施工单位、科研机构等多方协同机制，明确各方职责与协作流程，通过定期沟通会议、信息共享平台等方式，实现技术研发、检测评估、维护实施等工作的横向协同，构建全方位、立体化的全生命周期运营维护管理体系架构。

4.2 标准规范制定

标准规范制定需围绕全生命周期各阶段管理需求，构建“基础通用、专项技术、管理流程”三位一体的标准规范体系。基础通用标准需明确轨道交通桥梁隧道全生命周期管理的术语定义、基本原则、技术指标及质量要求，为各专项标准制定提供统一依据。专项技术标准需按专业领域细分，包括监测检测标准、修复加固标准、材料应用标准等，监测检测标准需明确不同监测指标的检测方法、精度要求及数据采集频率；修复加固标准需规范不同病害的修复工艺、技术参数及质量验收要求；材料应用标准需明确维护作业中各类材料的性能指标、检验方法及使用范围。管理流程标准需涵盖全生命周期各阶段管理流程，包括规划设计阶段的方案评审标准、建设施工阶段的质量管控标准、运营阶段的监测评估标准、维护阶段的作业实施标准及报废拆除阶段的安全处置标准。同时建立标准规范动态更新机制，结合技术创新成果与实际管理经验，定期对标准规范进行修订完善；加强标准规范宣贯培训，确保各参与单位准确理解与严格执行标准规范，保障全生命周期运营维护管理工作的标准化、规范化开展。

4.3 信息平台建设

信息平台建设需以数据整合共享为核心，构建“数据采集、存储管理、分析应用、共享服务”四位一体的

全生命周期信息管理平台。数据采集层面，整合物联网、无人机、传感器等多源采集设备，实现规划设计数据、施工质量数据、运营监测数据、维护处置数据、报废拆除数据等全生命周期数据的自动采集与实时上传，确保数据完整性与时效性。存储管理层面，采用云计算与大数据存储技术，构建分布式数据库，对海量多类型数据进行分类存储，建立数据质量管控机制，通过数据清洗、校验、脱敏等处理，保障数据准确性与安全性；建立数据分级授权制度，明确不同用户数据访问权限，防止数据泄露^[4]。分析应用层面，融入人工智能、大数据分析等技术，构建结构性能评估模型、病害预测预警模型、维护决策优化模型等，通过对全生命周期数据的深度分析，实现结构性能精准评估、病害发展趋势预测、维护方案智能优化及全周期成本测算，为管理决策提供科学支撑。共享服务层面，建立统一数据接口标准，实现与主管部门、运营单位、专业检测机构等各方系统的数据对接与共享；开发Web端、移动端等多终端访问功能，为不同用户提供个性化数据查询、报表生成、预警提示等服务，打破“信息孤岛”，实现全生命周期数据的高效利用与协同共享。

结束语

轨道交通桥梁隧道全生命周期运营维护管理体系构建意义重大。通过深入剖析理论基础、现状问题、核心要素，提出针对性构建策略，可有效提升全生命周期协同管理能力，实现资源优化配置与成本精细管控。未来，需持续完善该体系，加强技术创新与应用，培养复合型人才，推动轨道交通桥梁隧道运营维护管理向智能化、标准化、精细化方向发展，保障轨道交通安全高效运行，为城市发展贡献力量。

参考文献

- [1] 田云峰,刘斐然,张丽超,等.城市轨道交通车辆轮对全生命周期管理优化[J].城市轨道交通研究,2023,26(10):138-142.
- [2] 张晓宇, 陈慧敏.轨道交通全生命周期信息化建设与管理创新策略[J].城市交通规划与管理,2023(6):78-83.
- [3] 李勇, 刘思琪.基于信息技术的轨道交通项目管理模式优化研究[J].铁道科学与工程学报,2022(8):132-137.
- [4] 顾佳樑,袁建军,楚彭子.城市轨道交通信号系统设施设备维护表现评估[J].价值工程,2024,43(03):44-46.